

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-279326

(P2001-279326A)

(43) 公開日 平成13年10月10日 (2001. 10. 10)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	特許出願公開番号 (参考)
C 2 1 D 8/12		C 2 1 D 8/12	A 4 K 0 3 3
B 2 1 B 3/02		B 2 1 B 3/02	5 E 0 4 1
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U
38/34		38/34	
38/52		38/52	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-89021 (P2000-89021)

(22) 出願日 平成12年3月28日 (2000. 3. 28)

(71) 出願人 000001258

川崎製鉄株式会社

兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

(72) 発明者 近藤 修

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 (番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72) 発明者 藤田 明男

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 (番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(74) 代理人 100059258

弁理士 杉村 暁秀 (外2名)

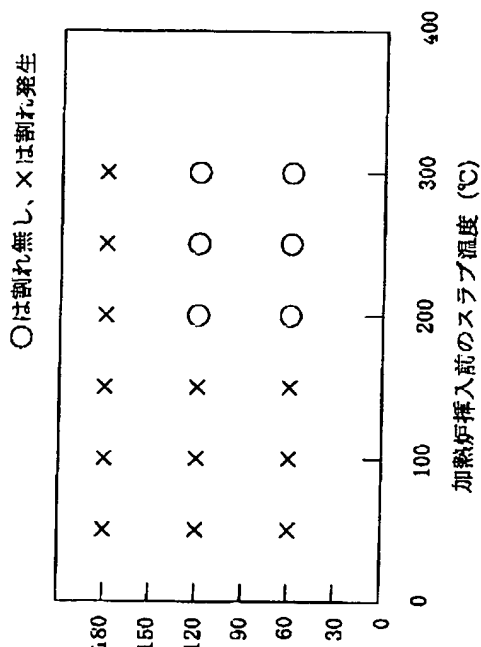
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波用の無方向性電磁鋼板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い固有抵抗と良好な打ち抜き加工性及び曲げ加工性を併せ持ち、通常の圧延法にて製造可能で、最終焼鈍にて結晶粒径を高周波用に最適化可能である、1 kHz を超える周波数域で特に優れた磁気特性を有する高周波リアクトル用無方向性電磁鋼板の有利な製造方法を提案する。

【解決手段】 Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、C及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に低減するとともに、Ti及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に低減してなる溶鋼を素材とする。連続鋳造から熱間圧延の間にわたり、スラブを200℃以上に保持する。熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前において、素材の厚み方向1/20厚の温度と、中心部の温度との温度差を120℃以下にする。熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にする。



(2) 要約図の図中を20/1の倍率

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなり、この不可避免の不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に低減してなる溶鋼を連続铸造によってスラブとし、このスラブに熱間圧延を行って熱延板とした後、冷間圧延又は温間圧延を行い、次いで連続焼鈍を行ってから、絶縁被膜を付与する無方向性電磁鋼板の製造方法において、

上記連続铸造から熱間圧延の間にわたり、スラブを200℃以上に保持すること、

上記熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすること、

上記熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にすること、を特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項2】 Siが2.5～10mass%、Crが1.5～20mass%、を含み、かつ、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を、Alは5 mass%以下、Mn及びPはそれぞれ1 mass%以下、Sb及びSnはそれぞれ1 mass%以下、Ni及びCoは5 mass%以下、Coは1 mass%以下の範囲で含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなり、この不可避免の不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に低減してなる溶鋼を連続铸造によってスラブとし、このスラブに熱間圧延を行って熱延板とした後、冷間圧延又は温間圧延を行い、次いで連続焼鈍を行ってから、絶縁被膜を付与する無方向性電磁鋼板の製造方法において、

上記連続铸造から熱間圧延の間にわたり、スラブを200℃以上に保持すること、

上記熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすること、

上記熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にすること、を特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項3】 請求項1又は2記載の無方向性電磁鋼板の製造方法において、

前記不可避免の不純物中のTi及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に低減することを特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の無方向性電磁鋼板の製造方法において、

熱間圧延の後、冷間圧延又は温間圧延の前に行う熱延板焼鈍、及び、冷間圧延又は温間圧延の途中に行う中間焼鈍のうち、少なくとも一方の焼鈍を行い、かつ、

この熱延板焼鈍の条件を1100℃以下、この中間焼鈍の条

件を1100℃以下とすることを特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項5】 請求項4記載の無方向性電磁鋼板の製造方法において、

熱延板焼鈍を、中間焼鈍を行わない場合は850～1100℃の条件、中間焼鈍を行う場合は650～900℃の条件で行うこと、

中間焼鈍を、素材の板厚が1.0mm以上の場合は650～900℃の条件、1.0mm未満の場合は700～1100℃の条件で行うことを特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項6】 請求項1、2、3、4又は5記載の無方向性電磁鋼板の製造方法において、

最終冷延の圧下率を55～85%にすることを特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、高周波リアクトルに用いて好適な、無方向性電磁鋼板の製造方法に関するもので、特に、1 kHz以上の周波数域で優れた磁気特性を持つ無方向性電磁鋼板の製造方法を提案しようとするものである。

【0002】

【従来の技術】近年、地球環境の保護・改善を目的に、省エネルギー化への機運が高まっている。電気機器に注目すると、高効率化、省電力化のために、インバータ方式を採用する製品が増えてきており、その周波数も高効率化のために高周波域へと年々移ってきている。従来からインバータ化、高周波化に伴い、力率改善目的でリアクトルが使用されているが、更に電源汚染を防ぐ目的でインバータ機器に高周波リアクトルの使用が増しってきている。これら高周波リアクトルは、1 kHz以上、更には10kHz以上の周波数域で使用されることから、使用周波数域が1kHz程度までの、従来からある、通常の高周波対応珪素鋼板を用いたのでは、発熱が大きくなってしまい、使用することが困難であったため、特殊な材料を使用せざるを得なかった。

【0003】高周波鉄損を改善するためには、鋼の固有抵抗を高めることが重要であり、一般にはSiやAlの含有量を増やす手法がとられていた。しかし、Si、Alの含有量を増やすと加工性が劣化し、通常の方法で製造することは困難であった。この製造性を改善する技術としては、高珪素鋼板に関する特開昭61-166923号公報に記載された低温強圧下の熱間圧延による方法や、特開昭62-227078号公報に記載されたSiの拡散浸透処理による方法などがある。しかし、いずれの技術も、高Si、Al鋼が本質的に具備する脆性を改善するものではなく、それによって製造された製品は加工性が極めて悪く、リアクトルコア等に加工するのが困難であった。また、前者の特開昭61-166923号公報に開

示された技術は、合金としての脆性を見かけ上改善すべく圧延組織の微妙な調整が必要とするものであり、製造過程で厳密な制御を行うことから、工業的に安定して生産するのは困難である。一方、後者の特開昭62-227078号公報に開示された技術では、特殊な拡散浸透法を用いるため、工業的な製造を行う場合にはコストにおいて極めて不利であり、また、その結晶粒は粗大となることから、高周波鉄損には不利である。

【0004】実際、Siの拡散浸透処理による高Si材として、6.5 mass%Siを含有させた鋼板が存在し、インバーターエアコン用のリアクトルコアとして使用されているが、その伸びは5 %程度であり、通常の方法では打ち抜き加工や曲げ加工は困難であるため、短冊状に加工された鋼板を積層しリアクトルコアを製造している。通常の方法で曲げ加工や打ち抜き加工が可能であれば、巻きコアやE Iコアのような打ち抜き・積層コアを製造でき、その加工費用の低減に寄与するところは大きい。

【0005】また、高Si量とせずに鋼の固有抵抗を高めるためにCrを添加する技術が、特開平11-229095号公報に記載されている。しかしながら、そのSiの含有量は通常の珪素鋼板のその範囲を超えたものではなく、また、電気自動車用モータコア用素材を目的とし、その使用可能周波数域も、従来からの高周波用途の珪素鋼板と同様に1kHz程度が限度あり、高周波リアクトル用素材としては十分な高周波磁気特性が得られていなかった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来技術においては、1 kHzを超える高周波用途に利用できるまで固有抵抗を高めることは、Si、Alの利用の他は行われてなく、そして、鋼の固有抵抗を高めた高Si、Al鋼の素材自体が本質的にそなえる脆性を改善することは行われてなかったのが現状であった。

【0007】そこで、この発明は、上記の点に鑑み、高Si鋼の脆性を改善することで製造を容易にし製品の加工性の改善を図り、よって高い固有抵抗と良好な打ち抜き加工性及び曲げ加工性を併せ持ち、通常の圧延法にて製造可能で、最終焼鈍にて結晶粒径を高周波用に最適化可能である、1kHzを超える周波数域で特に優れた磁気特性を有する高周波リアクトル用無方向性電磁鋼板の有利な製造方法を提案することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】発明者らはFe-Si合金やFe-Si-Al合金について、高い固有抵抗と合金の良好な加工性の両立を達成すべく研究開発を行った末に、Crを共存させることが効果があるとの知見を得、その成果を特開平11-343544号公報に開示している。すなわち、これまでは、Fe-Si合金やFe-Si-Al合金において、Crを添加するほど靱性は劣化すると考えられてきたが、Siが3 mass%以上の含有量であっても、C及びNの

含有量を十分に低減した上で、一定量以上のCrを含有させることにより、むしろ高い靱性が得られることを見出したものである。かかる技術を基に、発明者らは、更なる冷延製造性の向上と10kHz以上の高周波磁気特性のみならず、1 kHz～10kHz程度の周波数域の磁気特性を改善させることを目指して鋭意研究を重ねた結果、C及びNをそれぞれ0.005 mass%以下低減させることで、TiやNb等のC固定元素を添加することなしに冷延性を確保でき、しかも、低周波域から高周波域までの磁気特性に優れた鋼板が得られることを見出したものである。

【0009】また、製造工程で熱処理を適度な条件で行うことで、圧延性を損なうことなく磁気特性の改善が行えること、最終冷延の圧下率が、磁気特性に及ぼす影響が大きいことを見出した。

【0010】併せて、Si量及びAl量が相対的に低いFe-Cr-Si系合金及びFe-Cr-Si-Al合金（以下、Fe-Cr-Si-Al合金も含めて「Fe-Cr-Si系合金」という。）であって、固有抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上となる成分系においても、C及びNの含有量を十分に低減すれば、同等の固有抵抗を持つCrを含有しない合金よりも加工性が大幅に向上することを見いだした。

【0011】また、発明者らは、これらCr含有のFe-Si合金やFe-Si-Al合金の熱延板組織を詳細に調査した結果、特に熱延板表層部分の靱性が中心部分よりも高く、加工性が優れているとの新知見を得た。この理由は詳細には定かでないが、Cr含有の効果によって、熱延板表層部の再結晶組織中に微細なサブグレインが発達し、これにより高い靱性を持つようになったものと推定される。このことから、Fe-Cr-Si系合金を製造するに際しては、熱延板の板厚を薄くすることが、次工程の冷間圧延における圧延性を良好にするために重要であることを見出した。

【0012】更に、Cr含有のFe-Si合金やFe-Si-Al合金を製造する方法の研究の結果、以下の知見を得た。まず、連続鋳造の際にはスラブコーナー部の割れを防止するためにコーナー部の冷却を制御することが好ましい。また、連続鋳造から熱間圧延までの間にスラブを一定温度以上に保持することが、安定製造に重要かつ、不可欠である。更に、熱間圧延の粗圧延における素材の表面割れや熱応力による内部割れは、粗圧延段階において、圧延ロールにかみこむ直前での素材の1/20厚の位置と中心部との温度差を少なくすることで防止できる。そして、これらの製造法の知見は、Si量が3.5 mass%を超える場合に特に有効である。

【0013】この発明は、Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなり、この不可避的不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に低減してなる溶鋼を連続鋳造によってスラブとし、このスラブに熱間圧延を行って熱延板とした後、冷間圧延又は温間圧延を行い、次いで連続焼鈍

を行ってから、絶縁被膜を付与する無方向性電磁鋼板の製造方法において、上記連続鍛造から熱間圧延の間にあたり、スラブを200℃以上に保持すること、上記熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすること、上記熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にすること、を特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法である。

【0014】また、この発明は、Siが2.5～10mass%、Crが1.5～20mass%、を含み、かつ、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を、Alは5mass%以下、Mn及びPはそれぞれ1mass%以下、Sb及びSnはそれぞれ1mass%以下、Ni及びCoは5mass%以下、Coは1mass%以下の範囲で含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、この不可避免の不純物中のC及びNをそれぞれ0.005mass%以下に低減してなる溶鋼を連続鍛造によってスラブとし、このスラブに熱間圧延を行って熱延板とした後、冷間圧延又は温間圧延を行い、次いで連続焼鈍を行ってから、絶縁被膜を付与する無方向性電磁鋼板の製造方法において、上記連続鍛造から熱間圧延の間にあたり、スラブを200℃以上に保持すること、上記熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすること、上記熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にすること、を特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法である。

【0015】この発明においては、前記不可避免の不純物中のTi及びNbのうち少なくとも1種を0.005mass%以下に低減することは、望ましい態様である。

【0016】また、この発明においては、熱間圧延の後、冷間圧延又は温間圧延の前に行う熱延板焼鈍、及び、冷間圧延又は温間圧延の途中に行う中間焼鈍のうち、少なくとも一方の焼鈍を行い、かつ、この熱延板焼鈍の条件を1100℃以下、この中間焼鈍の条件を1100℃以下とすることが好ましく、より好適には、熱延板焼鈍を、中間焼鈍を行わない場合は850～1100℃の条件、中間焼鈍を行う場合は650～900℃の条件で行うこと、中間焼鈍を、素材の板厚が1.0mm以上の場合は650～900℃の条件、1.0mm未満の場合は700～1100℃の条件で行うことである。

【0017】更に、この発明においては、最終冷延の圧下率を55～85%にすることは、一層好適である。

【0018】

【発明の実施の形態】この発明の無方向性電磁鋼板では、磁気特性については、CrをSi又は、Si及びAlと同時に含有させることにより、固有抵抗の増大に相乗的な効

果が現れる。その結果、特に高周波域での鉄損を、SiやAlのみ、ないしは、SiとAlを含有する合金系に比べ格段に低減することができる。

【0019】また、Crを含有させ、C及びNを低減させることで、製品の破断伸び特性が改善する。これは、打ち抜き加工や曲げ加工が容易にできることを意味し、従来の高固有抵抗電磁鋼板では困難であった加工が可能となり、製品の形状や加工方法に制約のない自由な製品設計が可能となる。

【0020】これまでの高固有抵抗の材料は圧延性が悪く、通常の圧延法によっては、0.5mm程度までしか減厚されていなかった。また、単に厚みを減じてもヒステリシス損失のために、十分な鉄損低減ができないとされてきた。しかし、発明者らの鋭意研究の結果、この発明にあるように、成分系と純度を選ぶことにより、減厚した場合の高周波鉄損特性の効果を促進し得る。

【0021】したがって、この発明に従う無方向性電磁鋼板は、その高周波域での鉄損特性が優れているため、インバータエアコン用のリアクトルや太陽光発電等のリアクトル素材として最も適しており、この発明の鋼板を用いることで、各種特性を改善し、発熱が少なく、効率のよいリアクトル製品が達成できる。

【0022】以下、この発明を詳細に説明する。まず、この発明の無方向性電磁鋼板における成分組成範囲の限定理由について説明する。CrはSi及びAlとの相乗効果によって鋼の固有抵抗を大幅に向上させて高周波域、特に1kHzを超える周波数域での鉄損を低減し、更には耐食性を向上させる基本的な合金成分であり、しかも、3.5mass%以上のSi含有量の場合、又は3mass%以上のSi含有量かつ0.5mass%を超えるAl含有量の場合であっても通常の圧延可能な程度の靱性を得るのに極めて有効であり、その観点からは2mass%以上を要する。Si量やAl量が上記の場合よりも少ないときには、Cr量を更に減じても加工性は確保できるが、Cr含有による加工性向上効果を発揮させ、かつ、鋼の固有抵抗を60 μ cml以上とするためには、1.5mass%以上のCrが必須である。一方、20mass%を超えると靱性向上の効果が飽和するとともに、コスト上昇を招くので、Crの含有量の範囲は、1.5mass%以上、20mass%以下、好ましくは、2mass%以上、10mass%以下、より好ましくは、3mass%以上、7mass%以下と規定する。

【0023】Siは、単独でも鋼の固有抵抗を上昇させるが、更に、Crとの相乗効果によって固有抵抗を大幅に上昇させ、高周波域、特に1kHzを超える周波数域での鉄損を低減するのに有効な成分である。Si量が2.5mass%未満ではCrやAlを併用しても磁束密度を余り犠牲にせず、60 μ cml以上の固有抵抗を得るには至らず、このため、良好な高周波磁気特性は得られない。一方、10mass%を超えると、Crを含有させても通常圧延可能なまでの靱性が確保できないので、Siの含有量の範囲は、2.5mass%

以上、10mass%以下、好ましくは、2.5 mass%以上、7 mass%以下、より好ましくは、3.5 mass%以上、5 mass%以下と規定する。

【0024】C及びNは、Fe-Cr-Si系合金の靱性を劣化させるため、できる限り低減することが好ましく、その許容量はこの発明のCr量、Si量及びAl量の場合には、高靱性を確保するためにC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に抑える必要がある。好ましくは、それぞれ0.003 mass%以下、より好ましくはそれぞれ0.0015mass%以下がよい。

【0025】Ti及びNbは、通常のCr含有鋼における加工性改善成分である反面、磁気特性を劣化させる成分である。この発明における加工性の改善は、Crの添加とC及びNを低減させることで達成するため、Ti及びNbが有する加工性改善作用は必要としない。このため、Ti及びNbはできる限り低減するのが磁気特性の観点から好ましい。もっとも、不可避の不純物としてのTi及びNbのうち、いずれか一方を低減することにより磁気特性の改善は可能である。これらのことから、この発明では、Ti及びNbのうち少なくとも1種を低減することとし、Ti及びNbの許容量はそれぞれについて、磁気特性の観点から0.005 mass%以下に限定する。

【0026】C、N、Ti及びNb以外の不純物量は特に限定されないが、一般の珪素鋼と同様に、磁気特性及び加工性を良好に保つためには、以下の範囲に制限することが重要である。Sは0.005 mass%以下、好ましくは0.002 mass%以下、より好ましくは0.001 mass%以下がよい。Oは0.005 mass%以下、好ましくは0.003 mass%以下、より好ましくは0.0015mass%以下がよい。Vは0.005 %以下、好ましくは0.002 mass%以下、より好ましくは0.0015mass%以下がよい。その他、La、Mg等も極力低減させることが好ましい。

【0027】この発明の無方向性電磁鋼板は、上述したSi、Crに加えて、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を含有させることができる。

【0028】Alは、Siと同様にCrとの相乗効果によって鋼の固有抵抗を大幅に向上させ、高周波域での鉄損を低減するのに有効な成分であるので、この発明では、必要に応じてAlを含有させることができる。しかし、Al量が5 mass%を超えると、コスト上昇を招くうえに、この発明のようにSiを2.5 mass%以上含有する鋼では、Crを多量に含有させても通常の圧延が可能なまでの靱性が確保できないので、Alの含有量は5 mass%以下とする。Alの下限は特に限定する必要がないが、脱酸や結晶粒成長性の改善のために0.005 ~0.3 mass%程度を含有させることがある。更に、Alを積極的に固有抵抗の増大のために活用するときは、この発明のようにSiが2.5 mass%以上

含有されている鋼ではAlが0.5 mass%未満では固有抵抗を更に上昇させるに十分な効果が得られない。したがって、好ましくはAlの含有量は0.05mass%以上、5 mass%以下、より好ましくは0.5 mass%以上、3 mass%以下である。

【0029】Mn及びPは、Fe-Cr-Si系合金に更に添加することにより、一層の固有抵抗の上昇を与えることが知られている。これらの成分の添加により、この発明の趣旨が損なわれることなく、更なる鉄損の低減が達成できる。そこで、この発明では、Mn、Pの中から選ばれる1種又は2種を含有させることができる。とはいえ、これらの成分を大量に添加するとコスト上昇を招くので、それぞれの添加量は1mass%を上限とする。より好ましくは0.5 mass%以下がよい。

【0030】Sb及びSnは、いずれも集合組織を改善する作用を有し、それにより製品の磁気特性向上に寄与する。したがって、この発明では、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種を、それぞれ1 mass%以下の範囲で添加させることができる。Sb量やSn量が1 mass%を超えると効果は薄れ、また、コストの上昇を招くことからSb量、Sn量の上限は1 mass%とする。なお、Sb量、Sn量の下限は特に限定するものではないが、前述したSb、Snの添加効果を十分に発揮させるためには、それぞれ、0.001 mass%以上を添加することが好ましい。

【0031】Ni及びCuは、いずれも磁気特性を改善する作用を有する。また、延性-脆性遷移温度を下げて、加工性を向上させる。更に、結晶粒径を細粒化する作用を有するため、渦電流損を低減させる効果がある。また、いずれも製品の耐食性、耐候性を改善する作用を有する。したがって、この発明では、所望の諸特性に応じて、NiやCuを含有させることができる。Ni量が5 mass%を超える場合やCu量が1 mass%を超える場合は、いずれも、前述の効果が飽和するばかりか、飽和磁束密度を著しく低下させるため、また、延性を劣化させ、更には、コスト上昇を招くことから、Ni、Cuの含有量の上限はそれぞれ5 mass%、1 mass%とする。なお、Ni量、Cu量の下限は特に限定するものではないが、前述したNi、Cuの添加効果を十分に発揮させるためには、それぞれ、0.005 mass%以上を含有させることが好ましい。

【0032】Coは、磁束密度を高め、製品の磁気特性を向上させる作用を有する。したがって、この発明では、Coを含有させることができる。Co量が5 mass%を超える場合、コスト上昇を招くことから、Co含有量の上限は5 mass%とする。なお、Co量の下限は特に限定するものではないが、前述した添加効果を十分に発揮させるためには、0.005 mass%以上を含有させることが好ましい。

【0033】上述した成分組成範囲になる溶鋼を、連続鋳造後、熱間圧延するまでの間にわたり、スラブを200℃以上に保持する。この発明の鋼は、高Si鋼のため、Crを含有させても鋳造組織の状態では脆弱であり、また、

スラブの冷却による内部割れ、熱応力割れを防止する必要がある。そのため、この発明の製造方法では、連続鋳造から熱延までの間のスラブ温度を200℃以上と規定する。これを実現する方法としては、例えば、連続鋳造から、熱延の加熱炉挿入までの時間を短時間で行う、CC-DR法やHCR法などを適用する等が考えられる。特に、CC-DR法やHCR法を適用した場合は、連続鋳造時の顕熱を保持したまま加熱することなく熱間圧延に供することもできる。また、スラブの脆性割れ、熱応力割れ、粗熱延での表面割れを防止するのに、薄スラブ連続鋳造法を適用することも有効である。更に、鋳造時にスラブ組織を制御し、脆性改善することも有効である。

【0034】また、熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすることが肝要である。この発明では、粗圧延時における熱応力による表面割れ、内部割れを防止する必要がある。このため、熱間圧延の粗圧延において、圧延ロールに噛み込む直前の素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下と規定する。また、必要に応じて熱間圧延に供する素材の表面スケール除去法に注意する必要がある。特に、水スプレーを使用する素材の表面スケール除去は、素材表面の温度を著しく低下させるため、その水量、スプレー圧を制御し、素材の厚み方向の温度勾配を上記の範囲にする必要がある。

【0035】その後の熱間仕上げ圧延は、極力薄く圧延することによって、次工程の冷間圧延における圧延性を良好にすることができる。このため、熱延板の厚みは3mm以下、好ましくは2.5mm以下、より好ましくは1.8mm以下とする。また、熱延板の厚みを0.5mmより薄くすることは、圧延機の問題や熱延板の形状が不良となることから、熱延板の厚み下限を0.5mmと規定する。

【0036】熱延板焼鈍は、鋼板の集合組織を改善し、ひいては磁気特性改善に効果がある。しかし、過度に高温で処理すると、それに引き続く冷間圧延で耳割れ破断等の問題が生ずる。また、冷間圧延工程において、中間焼鈍を行う場合には、この中間焼鈍によっても磁気特性改善効果があり、その場合は熱延板焼鈍が低い温度でもその効果を発揮できる。このため、この発明では、熱延板焼鈍の磁気特性改善効果を、その後の冷間圧延での不具合が生じない範囲で有効に利用するために、熱延板焼鈍の温度を、冷延工程で中間焼鈍を行わないものについては、850℃以上、1100℃以下、中間焼鈍を行う場合に

については、650℃以上、900℃以下とするのが最も好適である。

【0037】冷延工程での中間焼鈍は、鋼板の集合組織を改善し、ひいては磁気特性改善の効果があり、更に、鋼板の圧延歪を除去し、その後の冷間圧延の負荷を低減する効果もある。しかし、歪が除去され、再結晶が完了した後は、鋼板の脆性を悪化させる。つまり、過度に中間焼鈍をすることは、それらの効果が飽和するばかりか、粗大な再結晶粒となり次工程の冷間圧延で板破断を生じさせることにもなる。したがって、中間焼鈍を、処理時の板厚が1.0mm以上の場合には、650℃以上、900℃以下、1.0mm未満の場合には、750℃以上、1100℃以下の温度条件で行うことが好ましい。なお、中間焼鈍処理時の鋼板板厚によって焼鈍温度の範囲が異なるのは、次工程の圧延において、同一の素材脆性の場合でも鋼板板厚が薄い方が、見かけ上の脆性は改善されるために、圧延での破断が起きなくなるためである。

【0038】最終圧延の圧下率は、圧延による歪付与、次工程の再結晶焼鈍を経て、製品の集合組織や結晶粒径を変化させる。圧下率が大きくなると、付与歪が大きくなり、再結晶の核が増えるために、再結晶粒径は小さくなるが、あまり大きくなると集合組織が悪化し、磁気特性を劣化させる。したがって、この発明の高周波域で良好な磁気特性を得るためには最終冷延の圧下率を、55%以上、85%以下とするのが望ましい。

【0039】

【実施例】（実施例1）表1に示す成分組成を含み、残部がFe及び不可避免の不純物からなる鋼を溶製し、連続鋳造によりスラブとし、鋳造完了後保温措置をとってスラブ温度を230℃以上に保持しつつ、12時間以内に熱延前の加熱のため加熱炉へ挿入し、熱間圧延により2.0mmの熱延板とした。なお、熱間粗圧延時の圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差は、105℃であった。

【0040】これら熱延板のスケールを除去した後に、0.35mmまで冷間圧延を行い、温度850℃で10秒間の中間焼鈍を水素・窒素混合雰囲気中で行った。これら鋼板を更に冷間圧延によって厚さ0.1mmとし、820℃で10秒間の最終焼鈍を水素・窒素混合雰囲気中で行い、絶縁被膜を付与した。得られた製品をエプスタイン試料に切り出し、JIS C2550（1975年）に準じて磁性を測定し、その結果を表2に示す。

【0041】

【表1】

記号	成分 (mass%)															備考
	Si	Cr	Al	Mn	P	Sb	Sn	Ni	Cu	Co	C	N	Ti	Nb	S	
A	2.32	2.59	0.01	0.01	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0021	0.0018	0.0015	0.0018	0.0012	比較例
B	2.53	5.93	0.01	0.01	0.005	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0016	0.0023	0.0018	0.0014	0.0011	発明例
C	2.51	5.91	4.81	0.01	0.002	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0014	0.0013	0.0011	0.0008	0.0009	発明例
D	3.58	4.98	0.01	0.01	0.002	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0022	0.0017	0.0021	0.0023	0.0014	発明例
E	3.52	5.03	1.53	0.01	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0032	0.0035	0.0018	0.0015	0.0016	発明例
F	4.52	4.05	0.01	0.01	0.005	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0021	0.0032	0.0013	0.0018	0.0009	発明例
G	4.48	4.06	0.87	0.94	0.152	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0018	0.0021	0.0017	0.0016	0.0012	発明例
H	4.54	3.99	0.025	0.02	0.008	0.04	0.06	Tr	Tr	Tr	0.0018	0.0018	0.0021	0.0023	0.0017	発明例
I	4.53	4.11	0.26	0.24	0.010	Tr	Tr	1.23	0.85	Tr	0.0008	0.0007	0.0006	0.0008	0.0007	発明例
J	4.47	4.08	0.24	0.23	0.006	Tr	Tr	Tr	Tr	0.84	0.0025	0.0032	0.0024	0.0028	0.0017	発明例
K	4.48	4.06	0.64	0.01	0.025	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0068	0.0056	0.0026	0.0018	0.0017	比較例
L	4.51	3.98	0.025	0.02	0.021	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0034	0.0046	0.015	0.012	0.0025	比較例
M	4.53	Tr	0.21	0.18	0.005	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0008	0.0006	0.0011	0.0009	0.0007	比較例
N	4.48	1.23	0.23	0.28	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0007	0.0005	0.0009	0.0012	0.0011	比較例
O	5.82	4.85	0.02	0.03	0.004	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0012	0.0016	0.0013	0.0012	0.0008	発明例
P	6.53	18.2	0.01	0.02	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0009	0.0007	0.0009	0.0008	0.0005	発明例

【0042】

【表2】

No.	溶鋼 記号	固有抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	平均結晶粒径 (μm)	$W_{10}/10000$ (W/kg)	$W_{10}/10000$ (W/kg)	B_{50} (T)	伸び (%)	製板性	備考
1	A	55	45	32.6	18.1	1.624	21.5	良	比較例
2	B	71	50	29.5	12.3	1.596	22.5	良	発明例
3	C	139	35	16.3	6.26	1.532	14.5	良	発明例
4	D	81	30	18.4	8.91	1.584	21.5	良	発明例
5	E	107	35	17.8	7.18	1.536	13.5	良	発明例
6	F	88	25	15.1	8.23	1.557	21.0	良	発明例
7	G	103	20	14.6	7.21	1.543	12.4	良	発明例
8	H	88	30	14.9	8.53	1.561	15.5	良	発明例
9	I	93	25	17.1	7.92	1.557	16.5	良	発明例
10	J	92	20	17.5	7.59	1.614	15.5	良	発明例
11	K	99	—	—	—	—	—	破断	比較例
12	L	88	30	32.8	10.8	1.523	8.7	割れ	比較例
13	M	72	—	—	—	—	—	破断	比較例
14	N	78	—	—	—	—	—	破断	比較例
15	O	102	30	17.9	7.35	1.539	14.1	良	発明例
16	P	133	25	19.2	6.43	1.531	11.2	良	発明例

【0043】表2から、Cr量がこの発明の範囲外のNo.13及び14、並びにC量、N量がこの発明の範囲外であるNo.11は、冷延過程で鋼板破断が生じ、製板不可能であった。一方で、この発明の範囲の成分のものは、冷延性も良好でかつ、良好な高周波磁気特性であった。また、No.1はSi量がこの発明の範囲外で、固有抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ に満たない比較例であり、冷延性は良好であるが、高周

波磁気特性が悪いものである。また、No.12はTi量、Nb量がこの発明の範囲を超えるものであり、高周波鉄損は良好であるが、低周波域(1kHz)の鉄損が、Ti、Nbを低減させた実施例と比較し劣化していることがわかる。

【0044】(実施例2) C: 0.0020mass%、Si: 4.52mass%、Cr: 4.02mass%、Al: 0.25mass%、Mn: 0.08mass%、S: 0.0004mass%及びN: 0.0029mass%を含む溶

鋼を連続鋳造にて200mm 厚のスラブとし、加熱炉挿入前のスラブ温度を測温したのち、1100℃に加熱保持し、熱間粗圧延、連続し引き続く仕上げ圧延を行った。加熱炉挿入前のスラブ温度及び粗圧延時における素材の厚み方向温度勾配による粗圧延での素材割れの観察を行った結果を図1に示す。なお、粗圧延時の、圧延ロールに噛み込む直前の素材の1/20厚と中心部との温度差は、あらかじめ準備したダミースラブを用い、1/20厚と中心の温度をスケール除去条件毎に測温した。

【0045】(実施例3) C:0.0018mass%、Si:4.48mass%、Cr:4.06mass%、Al:0.01mass%、Mn:0.02mass%、S:0.0008mass%、N:0.0024mass%を含む鋼スラブを200℃以上にしてから、熱間圧延により各種板厚の熱延板とした。なお、熱間粗圧延時の圧延ロールに噛み込む直前における素材について、厚み方向の温度差は、80℃であった。これらの鋼板を、スケールを除去した後に冷間圧延を行い、その圧延性を調査した結果を図2に示す。

【0046】図2より、熱延板の板厚が厚くなるに従

い、その後の冷延での鋼板破断度数が大きくなり、熱延板板厚が3mmを超えると、破断度数が1回/tonを越え、実用上製造効率が悪くなることがわかる。これに対し、板厚が3mm以下であると、冷延での鋼板破断は多少あるが、実用的に製造可能な度数である。更に、熱延板板厚を薄くし、2mm以下にすると、冷延での鋼板破断は生じず、製造性は良好になる。

【0047】(実施例4) C:0.0019mass%、Si:4.51mass%、Cr:4.03mass%、Al:0.23mass%、Mn:0.24mass%、S:0.0006mass%、N:0.0024mass%を含む、この発明の条件範囲で製造した板厚1.6mmの熱延板を、表3に示す各種条件により、0.1mmの冷延板とし、連続焼鈍にて、820℃で10秒間の最終焼鈍を水素・窒素混合雰囲気中で行い、その平均結晶粒径を20~40μmとし、絶縁被膜を付与した。得られた製品をエプスタイン試料に切り出し、JIS C2550(1975年)に準じて磁性を測定した結果を表3に併記する。

【0048】

【表3】

No	熱延板 焼鈍 (℃)	中間板厚 1R/2R (mm)	中間焼鈍 1H/2H (℃)	最終冷延 圧下率 (%)	冷延時破断	W_{10000} (W/Kg)	B_{50} (T)	備 考
17	なし	—	—	93.8	問題なし	8.26	1.532	発明例
18	なし	0.35	1050	71.4	問題なし	7.89	1.563	発明例
19	なし	1.00	900	90	問題なし	8.13	1.548	発明例
20	なし	1.00	1050		2R時破断で圧延不能	—	—	比較例
21	なし	0.85	1150	84.6	2R時微小割れ発生	8.16	1.545	比較例
22	なし	0.4	680	75.0	問題なし	8.18	1.541	発明例
23	なし	0.80/0.35	800/800	71.4	問題なし	7.76	1.568	発明例
24	1050	0.4	800	75.0	問題なし	7.78	1.565	発明例
25	1150	—	—	—	破断で圧延不能	—	—	比較例

※ 1R、2Rは、それぞれ冷間圧延1回目、2回を表す。

1H、2Hは、それぞれ中間焼鈍1回目、2回を表す。

【0049】No.20、21、25は熱延板焼鈍、ないしは、中間焼鈍の温度が高過ぎたために、その後の冷延で鋼板破断、割れ等が生じ、製造に問題があった比較例である。それ以外は、この発明の範囲の実施例であり、磁気特性が良好で、冷延での破断もなく製造できたものである。No.18は最終冷延圧下率を特に限定したものであり、No.19と比較し、磁束密度が高く、更に特性のよい鋼板となっている。また、発明例のなかでも、No.17以外の実施例は、最終冷延圧下率が55~85%の範囲を満たしているため、磁気特性がNo.17に比べ良好である。また、No.18は中間焼鈍条件をも満たしたものであり、特

に良好な磁気特性となっている。

【0050】

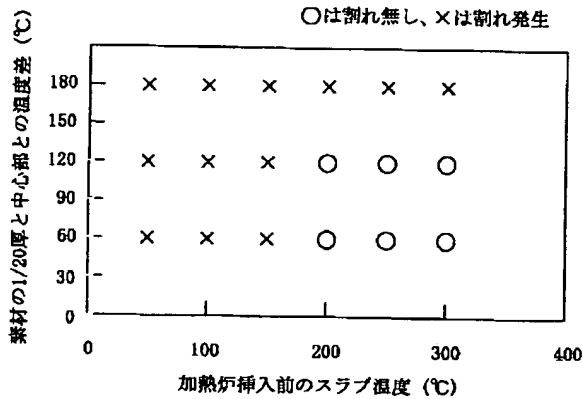
【発明の効果】以上のごとく、優れた高周波鉄損と磁束密度を併せ持つ高周波用無方向性電磁鋼板を提供することができた。

【図面の簡単な説明】

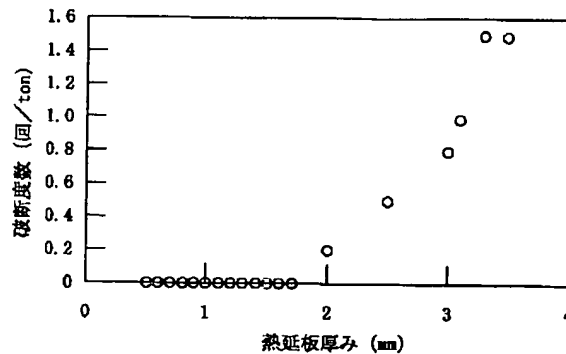
【図1】 加熱炉挿入前のスラブ温度及び粗圧延における圧延ロールに噛み込む直前の素材の1/20厚と中心の温度差が、粗圧延割れに及ぼす影響を示すグラフである。

【図2】 熱延板厚みと冷間圧延性との関係を示すグラフである。

【図1】



【図2】



【手続補正書】

【提出日】平成12年7月12日(2000.7.12)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項2

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項2】Siが2.5～10mass%、Crが1.5～20mass%、を含み、かつ、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を、Alは5 mass%以下、Mn及びPはそれぞれ1 mass%以下、Sb及びSnはそれぞれ1 mass%以下、Ni及びCoは5 mass%以下、Cuは1 mass%以下の範囲で含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなり、この不可避的不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に低減してなる溶鋼を連続鋳造によってスラブとし、このスラブに熱間圧延を行って熱延板とした後、冷間圧延又は温間圧延を行い、次いで連続焼鈍を行ってから、絶縁被膜を付与する無方向性電磁鋼板の製造方法において、上記連続鋳造から熱間圧延の間にわたり、スラブを200℃以上に保持すること、上記熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすること、上記熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にすること、

を特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】また、この発明は、Siが2.5～10mass%、Crが1.5～20mass%、を含み、かつ、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を、Alは5 mass%以下、Mn及びPはそれぞれ1 mass%以下、Sb及びSnはそれぞれ1 mass%以下、Ni及びCoは5 mass%以下、Cuは1 mass%以下の範囲で含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなり、この不可避的不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に低減してなる溶鋼を連続鋳造によってスラブとし、このスラブに熱間圧延を行って熱延板とした後、冷間圧延又は温間圧延を行い、次いで連続焼鈍を行ってから、絶縁被膜を付与する無方向性電磁鋼板の製造方法において、上記連続鋳造から熱間圧延の間にわたり、スラブを200℃以上に保持すること、上記熱間圧延の粗圧延の際、圧延ロールに噛み込む直前における素材について、表面から厚み方向に1/20厚の位置の温度と、厚み方向中心部の温度との温度差を120℃以下にすること、上記熱延板の板厚を0.5mm以上3.0mm以下にすること、を特徴とする高周波用無方向性電磁鋼板の製造方法である。

フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	(参考)
H 0 1 F	1/16	H 0 1 F	1/16
	1/18		1/18

(72)発明者 小松原 道郎
岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

Fターム(参考) 4K033 AA01 CA02 CA03 CA07 EA02
FA02 FA12 FA13 HA03 RA03
SA01
5E041 AA02 AA11 AA19 BC01 CA01
HB07 HB11 HB14 NN01 NN06
NN17 NN18